

# Análisis de la pronación y supinación subastragalinas en la marcha atlética

## DANIEL ROJANO ORTEGA

*Profesor Asociado*

Departamento de Deporte e Informática

## ALBERTO GRAO CRUCES

*Alumno de la Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*

## PABLO RODRÍGUEZ MARTÍN

*Alumno de la Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*

## FRANCISCO JOSÉ BERRAL DE LA ROSA

*Director del Departamento de Deporte e Informática*

Universidad Pablo de Olavide

### Correspondencia con autor

Daniel Rojano Ortega

[drojort@upo.es](mailto:drojort@upo.es)

## Resumen

El calcáneo puede realizar movimientos de inclinación sobre su cara interna (pronación) o externa (supinación). No existe evidencia experimental sobre la relación entre lesiones del miembro inferior, tipo de pie y valores excesivos de pronación o supinación. Tampoco existen estudios concluyentes sobre valores máximos de pronación y supinación durante la carrera o la marcha atlética. Se han formado tres grupos: 5 marchadores, 5 velocistas y 5 sujetos sedentarios. Se ha analizado el tipo de pie (Hernández-Corvo) y la pronación y supinación máximas andando (6 km/h), corriendo (14 km/h) y marchando (12 km/h, únicamente marchadores), en tapiz rodante, mediante filmación 2D posterior. Se ha encontrado correlación negativa significativa ( $p < 0,01$ ) entre valores máximos de pronación y supinación (mayor pronación implica menor supinación y viceversa), pero no entre estos valores y el tipo de pie. No existen diferencias significativas en tipos de pie ni en valores máximos de pronación y supinación entre los tres grupos, aunque de media son los marchadores los que más pronan. Existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en valores máximos de pronación y supinación entre velocistas corriendo y marchadores marchando. Esto puede indicar que la técnica de la marcha acentúa la pronación, lo que podría aumentar también el riesgo de lesiones.

## Palabras clave

Supinación; Pronación; Marcha atlética; Hernández-Corvo.

## Abstract

### *Subtalar Pronation and Supination Analysis in Racewalking*

*The calcaneus can perform inclination movements on its inner side (pronation) or external side (supination). There is no experimental evidence about the relationship between lower extremity injuries, type of foot and excessive pronation or supination values. There are no conclusive studies about maximum pronation and supination values during running or racewalking. Three groups were set-up: 5 race-walkers, 5 sprinters and 5 sedentary individuals. The type of foot has been analyzed (Hernández-Corvo), along with the maximum pronation and supination values during walking (6km/h), running (14km/h) and race-walking (12km/h, only race-walkers) in a treadmill, using a backsight 2D video. It has been found a negative significant correlation ( $p < 0.01$ ) between maximum pronation and supination values (bigger pronation implies less supination and vice versa), but not between these values and the foot type. There are no significant differences either in type of foot or in maximum pronation and supination values among the three groups, although, on average, race-walkers have the greatest pronation values. There are significant differences ( $p < 0.05$ ) in maximum pronation and supination values between sprinters running and racewalkers racewalking. This may indicate that racewalking technique increases pronation values, which could also increase the risk of injuries.*

## Key words

*Supination; Pronation; Racewalking, Hernández-Corvo.*

## Introducción

La pronación y la supinación subastragalinas son movimientos que se producen en la articulación entre el astrágalo y el calcáneo. La articulación subastragalina puede realizar movimientos en los tres planos del espacio de forma que la porción anterior del calcáneo efectúa movimientos en tres direcciones espaciales. Una de estas direcciones se corresponde con los movimientos de pronación y de supinación. Cuando el calcáneo se inclina sobre su cara interna se habla de pronación, mientras que si lo hace sobre la cara externa se habla de supinación (Fucci, Benigni y Formasari, 2003; Kapandji, 2004).

El ángulo que se suele tomar como referente para la pronación y la supinación es el formado por la línea del tendón de Aquiles y la línea vertical medial del calcáneo (Aguado, 1997). Cuando estas dos líneas tienen la misma dirección el ángulo formado toma un valor de cero grados y se habla de posición neutra. Es aquí cuando el calcáneo se encuentra perpendicular al suelo. Si estas dos líneas no son paralelas nos encontraremos ante una supinación o una pronación según hacia dónde se produzca la inclinación del calcáneo con respecto al astrágalo.

Parece ser que la pronación es un mecanismo utilizado para adaptar el pie al terreno y para disminuir las fuerzas de impacto absorbidas (Nilsson y Thortensson, 1989; Perry y Lafortune, 1995; Jiménez, 2004). A mayor pronación, mayor amortiguación (Rueda, 2003), aunque el fenómeno de amortiguación de la marcha aumenta también mediante la flexión de la rodilla (Jiménez, 2004). Algunos estudios importantes, sin embargo, no han podido demostrar esa relación entre pronación y fuerzas de impacto (Kersting, Kriwet y Brüggemann, 2006). La supinación es un mecanismo utilizado para estabilizar el antepié sobre el retropié de forma que el pie actúe como una palanca rígida durante la propulsión, protegiendo el tobillo de inestabilidad y disminuyendo la dependencia de la musculatura peronea (Jiménez, 2004). La pronación máxima suele darse durante el apoyo plantar completo, mientras que la supinación máxima suele darse durante la fase de impulso (Aguado, 1997).

Según estemos andando, corriendo o marchando y, dependiendo de la velocidad a la que lo estemos haciendo, los valores máximos de pronación y de supinación serán distintos. Es importante conocer

cuáles son los rangos normales de pronación y de supinación durante un ejercicio y los problemas que se pueden derivar de unos valores excesivos de los mismos.

Se ha estimado que la amplitud de movimiento de la articulación subastragalina varía desde 20° a 62° (Peroni, 2002) y es de gran importancia para evitar lesiones que la supinación alcance valores que sean aproximadamente el doble que la pronación (Subotnick, 1985). Tanto durante la marcha como durante la carrera existen unos valores máximos que se consideran normales para la pronación y para la supinación. Así, para el desarrollo de una marcha normal son necesarios de 4° a 6° de pronación y de 8° a 12° de supinación (Peroni, 2002), mientras que, en general, se considera que en un funcionamiento normal de la articulación subastragalina durante la carrera, los valores de la pronación pueden llegar hasta los 10°/15° y los de la supinación hasta los 20° (Aguado, 1997).

Existen, sin embargo, grandes vacíos en cuanto a los valores normales de pronación y de supinación durante la marcha atlética.

Los valores considerados normales para la carrera y la marcha varían además, según la persona y en función de las condiciones del ejercicio. Así, parece ser que a medida que aumenta la velocidad de desplazamiento aumenta también la pronación (debido a que es un mecanismo de amortiguación de las fuerzas de impacto) y que un aumento de la pronación lleva consigo una disminución de la supinación y viceversa.

La literatura no es clara en cuanto a la posible relación entre lesiones del miembro inferior, tipo de pie (cavo, normal o plano) y valores excesivos de pronación o de supinación. Subotnick (1985) indica que hay una mayor incidencia de lesiones en atletas con pies planos que en atletas con pies cavos o normales. Cowan, Jones y Robinson (1993) constatan el aumento de lesiones relacionadas con la actividad física en personas con pies cavos con altos arcos longitudinales internos. Sgarlato (citado por Peroni, 2002) preconiza que las anomalías del pie tienen un factor causal común relacionado con excesiva pronación articular de algún componente de la fase de apoyo de la marcha. Aguado (1997) afirma que, en general, un pie plano tiene mayor tendencia a pronar mientras que un pie cavo tiene mayor tendencia a supinar, lo que puede hacer diferente el patrón de

lesiones de cada tipo de pie. Williams *et al.* (2001) llegan a la misma conclusión en un estudio realizado a 20 corredores con pies planos y a 20 corredores con pies cavos, comprobando también que las fuerzas de impacto recibidas por los corredores con pies cavos son más altas que las recibidas por los corredores con pies planos.

También existe gran controversia en cuanto a las modificaciones que el ejercicio físico desarrollado en el medio terrestre puede inducir en la morfología del pie, que es la estructura anatómica que recibe los impactos del suelo y los transmite al resto del cuerpo. Está bastante reconocido en el ámbito de la podología deportiva que los deportistas entrenados mantienen el arco plantar más elevado que personas sedentarias, lo que indica que los esfuerzos repetidos tienden a modelar el pie hacia un pie más cavo (Sirgo *et al.*, 1992). Sin embargo, López *et al.* (2006), detectan que, después de un periodo de entrenamiento de tres meses, los marchadores de su estudio presentaban un pie algo más plano que antes del entrenamiento.

Según Gil, Marín y Pascua (2005), un pie que trabaja pronado puede ser el responsable de alteraciones en la parte externa de la rodilla, de la cadera y de que algunos músculos trabajen de manera más forzada, mientras que un pie supinado suele dar problemas en la parte interna de la cadera y de la rodilla.

El objetivo de este trabajo es calcular los valores máximos de pronación y de supinación desarrollados por varios marchadores andando (6 km/h), corriendo (14 km/h) y marchando (12 km/h), comparar si los valores obtenidos por dichos marchadores son significativamente distintos de los obtenidos por otros dos grupos, uno de atletas de velocidad y otro de sujetos sedentarios, determinar si hay alguna diferencia significativa entre el tipo de pie (cavo, normal o plano, según el método de Hernández-Corvo) de cada grupo y comprobar si existe alguna relación entre los valores máximos de pronación y de supinación así como entre dichos valores y el tipo de pie.

## Material y métodos

Se han analizado 15 sujetos pertenecientes a la licenciatura de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, de la Universidad Pablo de Olavide de Sevi-

lla. Se han formado tres grupos de cinco sujetos cada uno: el primer grupo compuesto por cinco marchadores, el segundo por cinco velocistas y el tercero por cinco sujetos sin vinculación alguna con el atletismo y que podíamos considerar como sedentarios. La edad media fue 20,79 años con una desviación típica de 1,76 años; la altura media de 170,38 cm con una desviación típica de 9,28 cm y el peso medio fue de 63,5 kg con una desviación típica de 10,44 kg. La investigación fue aprobada por el comité ético de dicha Universidad.

Para obtener los diferentes datos, necesarios para el estudio que presentamos, se siguieron los siguientes protocolos de actuación:

### Protocolo seguido en marchadores

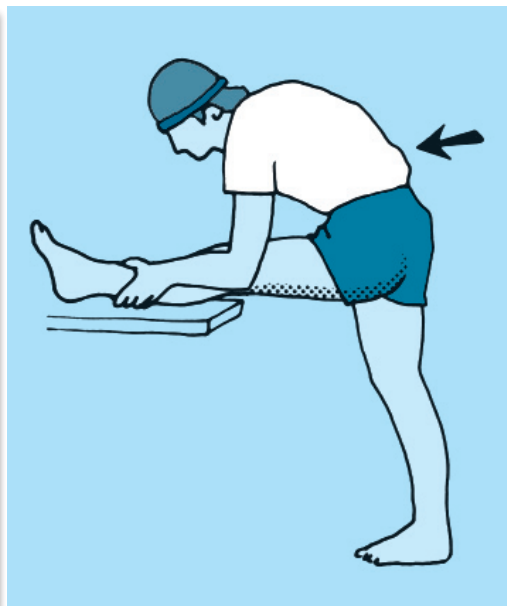
- Análisis de la huella plantar, de ambos pies, mediante el método de Hernández-Corvo.
- Medición de pronación y supinación máximas andando a 6 km/h.
- Calentamiento de 5 minutos marchando.
- Estiramientos del psoas ilíaco y del cuádriceps, de la musculatura isquiotibial y de los gemelos.
- Ejercicios de movilidad articular de la cadera.
- 3 progresiones de 50 metros marchando.
- Medición de pronación y supinación máximas marchando a 12 km/h.
- Calentamiento de 2 minutos corriendo a 12 km/h.
- Medición de pronación y supinación máximas corriendo a 14 km/h.

### Protocolo seguido en sujetos no marchadores

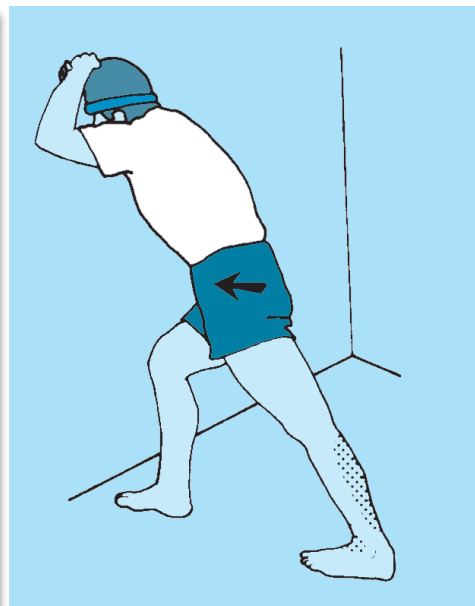
- Análisis de la huella plantar, de ambos pies, mediante el método de Hernández-Corvo.
- Medición de pronación y supinación máximas andando a 6 km/h.
- Calentamiento de 5 minutos corriendo.
- Estiramientos del psoas ilíaco y del cuádriceps, de la musculatura isquiotibial y de los gemelos.
- 3 progresiones de 50 metros corriendo.
- Calentamiento de 2 minutos corriendo a 12 km/h.
- Medición de pronación y supinación máximas corriendo a 14 km/h.



**Figura 1**  
Estiramientos del psoas ilíaco y del cuádriceps (Anderson, 2000)



**Figura 2**  
Estiramientos de la musculatura isquiotibial (Anderson, 2000)



**Figura 3**  
Estiramientos de los gemelos (Anderson, 2000)

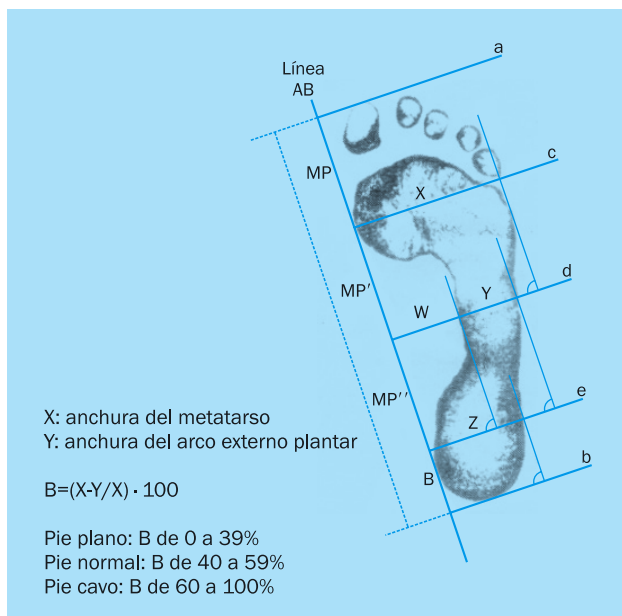
Los estiramientos han sido estáticos y pasivos (*figuras 1, 2 y 3*). De cada tipo se han realizado dos series de 20 segundos con 30 segundos de descanso entre series.

A los sujetos marchadores se les han aplicado ejercicios de movilidad articular de la cadera, debido a que para la marcha es de especial relevancia la movilidad de la cintura pelviana para una buena ejecución técnica (Gil, Marín y Pascua, 2005; Gil *et al.*, 2006). En el caso de los sujetos no marchadores, esto no ha sido necesario, ya que no se les ha medido la pronación y la supinación máximas marchando, pues carecían de conocimientos mínimos sobre la técnica de la marcha.

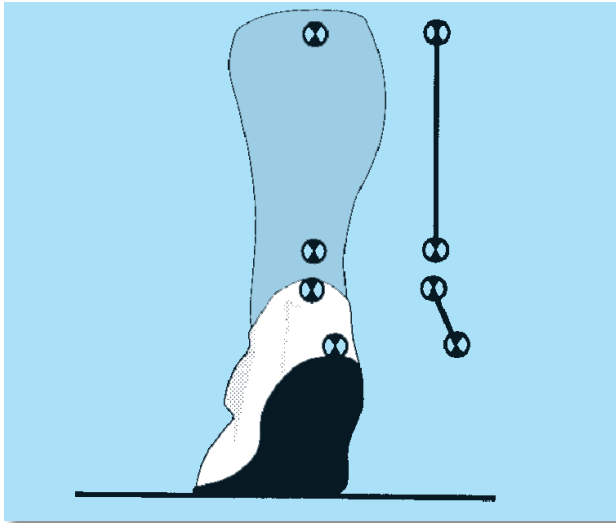
La toma de la huella plantar se ha realizado con un medidor de huella plantar de la marca Ortofis y se ha determinado el tipo de pie mediante el método de Hernández-Corvo (*figura 4*).

Para las mediciones de la pronación máxima y de la supinación máxima se han marcado cuatro puntos con un lápiz dermatográfico en la pierna a medir del corredor en cuestión, dos en la línea vertical del calcáneo y los otros dos en la línea del tendón de Aquiles, uno de ellos en la inserción y otro unos 10cm más hacia arriba. Estos cuatro puntos forman dos líneas que en posición neutra forman un ángulo de 0° (o 180°, según se mida) y cuando hay pronación o supinación forman ángulos distintos de 0° (*figura 5*).

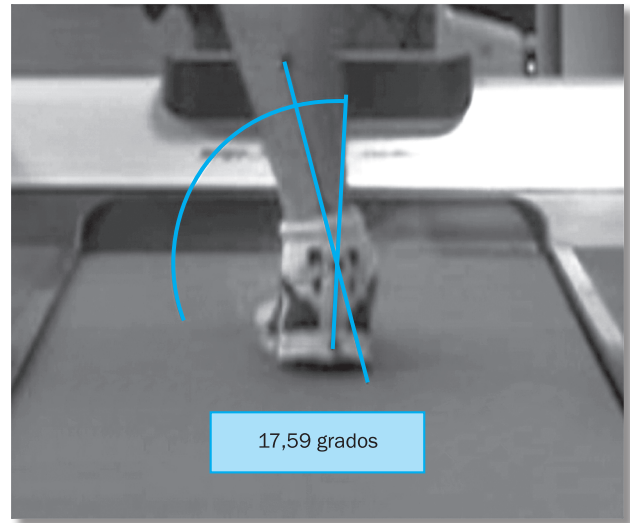
Los ángulos suelen tomarse positivos para la pronación y negativos para la supinación o al revés, pero en este trabajo hemos tomado ambos como positivos y sólo los hemos



**Figura 4**  
Medición del tipo de pie mediante el método de Hernández-Corvo (Hernández-Corvo, 1989)



**Figura 5**  
Puntos necesarios para la medición de la pronación y la supinación (Aguado, 1997)



**Figura 6**  
Medición de pronación con el programa Corel Draw 12

considerado como negativos cuando esperábamos una supinación o una pronación y ha sucedido lo contrario.

Se ha colocado al sujeto a analizar en un tapiz rodante (marca Daum Electronic GmbH, modelo ergo\_run medical 8) y se ha situado una cámara multimedia digital (marca JVZ, modelo GZ - MC500E) a 30 cm del suelo y, en principio, perpendicular al plano frontal desde una vista posterior. Si el sujeto apoyaba el pie un poco hacia fuera, al ser nuestra filmación en dos dimensiones, rotamos la cámara lateralmente los grados necesarios para no confundir este apoyo con una pronación.

Para medir la pronación y la supinación máximas se han grabado algunos segundos de ejercicio (varios apoyos con cada pie) y, con el programa Nero Vision Express 3, se han seleccionado los fotogramas en los que se apreciaban la pronación y la supinación máximas (normalmente durante el apoyo plantar completo y en la parte final de la fase de impulso, respectivamente). Luego hemos utilizado el programa Corel Draw 12 para medir con precisión en cada fotograma los ángulos formados por las dos líneas (figura 6).

Se han tomado tres apoyos de cada pierna en los que se producían los movimientos mencionados y se ha calculado el valor medio.

## Resultados

En primer lugar se ha efectuado una estadística básica en la que se han obtenido los valores medios

de las pronaciones y las supinaciones máximas encontradas para cada grupo (marchadores, atletas de velocidad y sedentarios) en cada medición (andando, corriendo y marchando) así como las desviaciones típicas de dichos valores. Los resultados obtenidos para las medias se agrupan en las siguientes *tablas 1, 2 y 3*):

	Pronación máxima (°)		Supinación máxima (°)	
	Pierna derecha	Pierna izquierda	Pierna derecha	Pierna izquierda
Marchadores				
Andando	12,47	13,83	4,93	5,40
Corriendo	13,60	14,27	6,40	10,02
Caminando	16,27	18,60	-7,73	-5,73

**Tabla 1**  
Valor medio de pronación y supinación máximas de marchadores andando, corriendo y marchando

	Pronación máxima (°)		Supinación máxima (°)	
	Pierna derecha	Pierna izquierda	Pierna derecha	Pierna izquierda
Atletas de velocidad				
Andando	11,33	9,60	0,27	7,73
Corriendo	9,73	10,13	5,47	11,18

**Tabla 2**  
Valor medio de pronación y supinación máximas de atletas andando y corriendo

Sujetos sedentarios	Pronación máxima (°)		Supinación máxima (°)	
	Pierna derecha	Pierna izquierda	Pierna derecha	Pierna izquierda
Andando	8,80	12,07	10,27	9,13
Corriendo	10,60	11,33	8,97	8,78

**Tabla 3**  
Valor medio de pronación y supinación máximas de sujetos sedentarios andando y corriendo

Hernández-Corvo (%)	Derecha		Izquierda	
	Valor	Desv. Típ.	Valor	Desv. Típ.
Marchadores	56,50	3,93	55,23	8,90
Atletas velocidad	57,03	6,37	45,78	9,26
Sedentarios	54,53	13,81	54,66	14,28

**Tabla 4**  
Porcentaje de apoyo del arco plantar según el método de Hernández-Corvo

	Hernández-Corvo izquierdo	Hernández-Corvo derecho
Chi-Square	1,523	,060
Df	2	2
Asymp. Sig.	,467	,970

**Tabla 5**  
Prueba Kruskal-Wallis para los Hernández-Corvo de los tres grupos

También se han calculado los valores medios de los Hernández-Corvo de cada grupo y sus desviaciones típicas, obteniéndose que todos los grupos tienen pies normales (ni cavos ni planos), ya que los porcentajes de apoyo del arco plantar obtenidos están entre el 40 % y el 60 % (tabla 4).

Se ha realizado la prueba de Kruskal-Wallis para saber si existen diferencias significativas entre los Hernández-Corvo de los tres grupos, obteniéndose que, con un nivel de confianza del 95 %, no existen dichas diferencias significativas (Tabla 5).

Se hallado la Rho de Spearman para determinar si existe correlación entre las pronaciones y las supinaciones máximas obtenidas por cada grupo en cada medición y los resultados de las mediciones de la huella plantar mediante el método de Hernández-Corvo. No se obtiene correlación significativa en ningún grupo para ninguna medición.

Se ha realizado también la Rho de Spearman para comprobar si existe correlación entre la pronación máxima y la supinación máxima, tanto derecha como izquierda, para cada grupo en cada medición, obteniéndose algunas correlaciones significativas que no siguen ningún esquema lógico aparente. Por ello, se ha calculado también el coeficiente de correlación de Pearson para comprobar si existe dicha correlación en las 35 mediciones realizadas, independientemente del tipo de sujeto del que se trate. Los resultados muestran que, con un nivel de confianza del 99 %, existe un coeficiente de correlación de -0,73 entre la pronación izquierda y la supinación izquierda y de -0,55 entre la pronación derecha y la supinación derecha.

Se ha efectuado la prueba de Kruskal-Wallis para saber si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos para la pronación y la supinación máximas de los tres grupos en las dos mediciones que afectan a los tres, es decir, andando y corriendo, obteniéndose que, con un nivel de confianza del 95 %, no hay diferencias significativas (Tabla 6).

Se ha calculado tres veces la U de Mann-Whitney para determinar si existen diferencias significativas entre los valores obtenidos para las pronaciones y las supinaciones entre:

Medición		Pronación izquierda	Pronación derecha	Supinación izquierda	Supinación derecha
Andando	Chi-Square	3,799	2,895	,487	3,528
	df	2	2	2	2
	Asymp. Sig.	,150	,235	,784	,171
Corriendo	Chi-Square	3,082	3,070	,420	,380
	df	2	2	2	2
	Asymp. Sig.	,214	,215	,811	,827

**Tabla 6**  
Prueba Kruskal-Wallis para pronaciones y supinaciones de los tres grupos

	Pronación izquierda	Pronación derecha	Supinación izquierda	Supinación derecha
Mann-Whitney U	5,500	5,500	10,000	12,000
Wilcoxon W	20,500	20,500	25,000	27,000
Z	-1,471	-1,567	-,522	-,104
Asymp. Sig. (2-tailed)	,141	,117	,602	,917
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,151(a)	,151(a)	,690(a)	1,000(a)

**Tabla 7**

Prueba U de Mann-Whitney para pronaciones y supinaciones entre marchadores y atletas de velocidad corriendo

	Pronación izquierda	Pronación derecha	Supinación izquierda	Supinación derecha
Mann-Whitney U	4,000	5,500	3,000	,000
Wilcoxon W	19,000	20,500	18,000	15,000
Z	-1,781	-1,467	-1,991	-2,611
Asymp. Sig. (2-tailed)	,075	,142	,047	,009
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,095(a)	,151(a)	,056(a)	,008(a)

**Tabla 8**

Prueba U de Mann-Whitney para pronaciones y supinaciones entre marchadores corriendo y marchando

	Pronación izquierda	Pronación derecha	Supinación izquierda	Supinación derecha
Mann-Whitney U	1,000	,500	2,000	2,500
Wilcoxon W	16,000	15,500	17,000	17,500
Z	-2,402	-2,514	-2,200	-2,095
Asymp. Sig. (2-tailed)	,016	,012	,028	,036
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,016(a)	,008(a)	,032(a)	,032(a)

**Tabla 9**

Prueba U de Mann-Whitney para pronaciones y supinaciones entre marchadores marchando y atletas de velocidad corriendo

- Marchadores y atletas de velocidad corriendo (Tabla 7).
- Con un nivel de confianza del 95 %, no se encuentran diferencias significativas.
- Marchadores corriendo y marchando (Tabla 8).
- Con un nivel de confianza del 95 % se encuentran diferencias significativas para las supinaciones pero no para las pronaciones.
- Marchadores marchando y atletas de velocidad corriendo (Tabla 9).

Con un nivel de confianza del 95 %, sí se encuentran diferencias significativas.

## Discusión

Observando los resultados obtenidos en las medias de los parámetros medidos, observamos que los marchadores son los que mayor pronación máxima tienen y que, en general, los sujetos sedentarios son los que mayor supinación máxima tienen.

En nuestro estudio no existen diferencias significativas

entre los tipos de pie de los distintos grupos de deportistas según el método de Hernández-Corvo. Tampoco existe una correlación significativa entre los valores máximos de la pronación y la supinación y el tipo de pie de los sujetos, por lo que no podemos afirmar que la práctica de la marcha o del atletismo de velocidad haya modificado la morfología del pie en los sujetos estudiados.

El hecho de que para las 35 mediciones haya una correlación significativa ( $p < 0,05$ ) negativa entre la pronación y la supinación máximas de cada pie, indica que, aunque la correlación no sea muy alta, aquellos sujetos que más pronan son los que menos supinan y viceversa. Sin embargo, esta correlación no siempre es significativa para cada grupo de deportistas y en cada medición. Es posible que sea porque el número de deportistas analizados para cada deporte y cada medición es muy pequeño y que con un número mayor se encontrase siempre correlación significativa.

La prueba de Kruskal-Wallis indica que, aunque los valores medios de las pronaciones y de las supinaciones máximas no son similares para los tres grupos, no podemos afirmar que existan diferencias significativas entre ellos, ni andando ni corriendo.

El que no existan diferencias significativas y el que sean precisamente los marchadores los que de media tengan mayores valores para la pronación, parece contradecir la teoría de que la pronación es un mecanismo para disminuir las fuerzas de impacto, haciendo que el pie se adapte mejor al terreno. Además, la pronación máxima aumenta en los marchadores al pasar de correr a marchar y, sin embargo, las fuerzas de impacto son menores durante la marcha que durante la carrera. Esto puede deberse a la técnica de la marcha, ya que la cadera realiza un doble movimiento, ascendente-descendente y hacia delante, obteniendo como consecuencia un movimiento circular (Campos, 2004; Gil, Marín y Pascua, 2005; Gil *et al.*, 2006). De esta forma, se mantiene el centro de gravedad sin excesiva elevación y se realizan los sucesivos apoyos del pie en línea con el mismo (Bravo, 1998; Gil, Marín y Pascua; Gil *et al.*) lo que implica una mayor pronación que si este apoyo tuviese lugar a la anchura de los hombros.

Se encuentran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los valores máximos de las supinaciones entre marchadores corriendo y marchando, no habiendo en realidad supinación en dichos sujetos marchando (sigue habiendo pronación incluso en la fase de impulso). Esto no es de extrañar dado que los impulsos realizados durante la marcha deben ser bastante menores que durante la carrera, por lo que es presumible que puedan realizarse incluso con la articulación en posición de pronación.

Por último, encontramos diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la pronación y la supinación máximas entre el grupo de marchadores marchando y el de atletas de velocidad corriendo, teniendo los marchadores valores mucho mayores de pronación. Esto puede hacer pensar en un mayor riesgo de lesiones en los marchadores que en los atletas de velocidad (Gil, Marín y Pascua, 2005). De hecho, los cinco marchadores analizados han tenido varios esguinces de tobillo y sobrecargas, sobre todo en la musculatura de isquiotibiales y tibiales.

Sin embargo, también es posible que una pronación mayor con fuerzas de impacto menores sea menos lesiva que una pronación algo menor con fuerzas de impacto mayores, por lo que para establecer conclusiones fiables sobre los riesgos de lesiones habría que hacer un estudio más en profundidad con un mayor número de atletas y utilizando plataformas de fuerzas que nos dieran también valores de las fuerzas de impacto.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer su colaboración a los 15 sujetos que, desinteresadamente, se han prestado para

el presente estudio, sin cuya participación habría sido imposible la realización del mismo.

## Referencias bibliográficas

- Aguado Jódar, X. (1997). *Biomecánica fuera y dentro del laboratorio*. León: Universidad de León. Secretariado de Publicaciones, D.L.
- Anderson, B. (2000). *Estirándose*. Barcelona: RBA Libros, S.A.
- Bravo, J. (1998). *Carreras y Marcha*. Madrid: Real Federación Española de Atletismo.
- Campos Granell, J. (2004). *Las técnicas de Atletismo: Manual práctico de enseñanza*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Collins, J. J.; Whittle, M. W. (1989). Impulsive forces during walking and their clinical implications. *Clinical Biomechanics* (4), 179-187.
- Cowan, D. N.; Jones, B. H. y Robinson, J. R. (1993). Foot morphologic characteristics and risk of exercise - related injury. *Arch Fam Med* (2), 773-777.
- Fucci, S.; Benigni, M. y Formasari, V. (2003). *Biomecánica del Aparato Locomotor Aplicada al Acondicionamiento Muscular*. Madrid: Elsevier España, S.A.
- Gil, F.; Marín, J. y Pascua, M. (2005). *Atletismo I. Velocidad, Vallas y Marcha*. Madrid: Real Federación Española de Atletismo.
- Gil, F.; Pascua, M.; González, L.; Osgariz, J. A. y Marín, J. (2006). *Manual Básico de Atletismo*. Madrid: Real Federación Española de Atletismo.
- Hernández-Corvo, R. (1989). *Morfología funcional deportiva: sistema locomotor*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Jiménez Leal, R. (2004). Estudio articular del miembro inferior durante el ciclo de la marcha. *El Peu* (24), 211-216.
- Kersting, U. G.; Kriwet, A. y Brüggemann, G. P. (2006). The role of footwear-independent variations in rearfoot movement on impact attenuation in heel-toe running. *Research in Sports Medicine* (14), 117-134.
- López, J. L.; Meana, M.; Vera, F. J. y García, J. A. (2006). Respuestas, adaptaciones y simetría de la huella plantar producidas por la práctica de la marcha atlética. *Cultura, ciencia y Deporte* (4), 21-26.
- Kapandji, A. I. (2004). *Fisiología Articular, Miembro Inferior*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Nilsson, J. y Thorstensson, A. (1989). Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. *Acta Physiol Scand* (136), 217-227.
- Peroni, L. A. (2002). *Las relaciones entre las inestabilidades el apoyo plantar y las alteraciones de la biomecánica de la rodilla*. Córdoba: Tesis realizada en la Universidad de Córdoba.
- Perry, S. D. y LaFortune, M.A. (1995). Influences of inversion/eversion of the foot upon impact loading during locomotion. *Clinical Biomechanics* (10), 253-257.
- Rueda, M. (2003). Introducción a la biomecánica del pie (II). *Apunts. Medicina de l'Esport* (142), 33 - 36.
- Sirgo, G.; Aguado, X.; Tejedor, J. C. y Brel, J. (1992). El niño ante el deporte de competición visto desde el punto de vista biomecánico, a propósito de un estudio transversal basado en la función de apoyo de gimnastas. *Perspectivas de la Actividad Física y el Deporte* (11), 13-17.
- Subotnick, S. I. (1985). The biomechanics of running. Implications for the prevention of foot injuries. *Sports Medicine* (2), 144-153.
- Williams, D. S.; McLay, I. S.; Hamill, J. y Buchanan, T.S. (2001). Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. *Journal of Applied Biomechanics* (17), 153-163.